

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2020.93015

不同成膜剂对玉米噻虫啉悬浮种衣剂的持效性及安全性影响

姚晨涛^{1,2,4} 乔治华^{1,2} 宋雪慧^{1,2} 张风文^{1,2} 孙晓^{1,2} 李刚¹
李向东¹ 张吉旺³ 姜兴印^{1,2,*}

¹ 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018; ² 山东农业大学植物保护学院农药毒理与应用技术省级重点实验室, 山东泰安 271018;
³ 山东农业大学作物国家重点实验室, 山东泰安 271018; ⁴ 苏州富美实植物保护剂有限公司, 上海 201203

摘要: 为明确含不同成膜剂的噻虫啉种衣剂处理玉米种子后在土壤和植株中的持效性及其对刺吸式害虫的防治效果, 选择3种不同成膜剂加工成的噻虫啉悬浮种衣剂以400 g a.i. 100 kg⁻¹种子浓度包衣处理, 分别于室内和田间条件下测定其对玉米出苗率、生长量和生理生化等方面的影响, 及噻虫啉在玉米叶片和土壤中的持效期, 并评价其对刺吸式害虫的防治效果。结果表明, ZY904-3 和 ZY904-5 成膜剂的噻虫啉种衣剂处理对玉米出苗没有影响, 3种成膜剂的噻虫啉拌种对玉米生长量和生理生化活性均有不同程度促进, 玉米叶片和土壤中的噻虫啉持效期较未加成膜剂有一定延长, ZY904-1、ZY904-3 和 ZY904-5 处理的噻虫啉悬浮种衣剂(FS)在叶片和土壤中持效期分别延长了 20~40 d、20~30 d 和 10~20 d。3种成膜剂处理可有效防治玉米刺吸式害虫, ZY904-1 和 ZY904-3 成膜剂的噻虫啉种衣剂处理对玉米刺吸式害虫数量有很好的控制作用, 分别于播种 80 d (室内)和 60 d (田间)后防效仍达 50%以上, 但 ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂推迟出苗时间。综合各个方面, ZY904-3 成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种效果最好。

关键词: 噻虫啉; 玉米; 不同成膜剂; 持效期; 安全性; HPLC-MS/MS

Effect of different film-forming agents on the persistence and safety of thiacloprid suspension concentrate for seed coating for maize

YAO Chen-Tao^{1,2,4}, QIAO Zhi-Hua^{1,2}, SONG Xue-Hui^{1,2}, ZHANG Feng-Wen^{1,2}, SUN Xiao^{1,2}, LI Gang¹, LI Xiang-Dong¹, ZHANG Ji-Wang³, and JIANG Xing-Yin^{1,2,*}

¹ College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; ² College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Key Laboratory of Pesticide Toxicology & Application Technique, Tai'an 271018, Shandong, China; ³ Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, Shandong, China; ⁴ Suzhou FMC Plant Protection Co., Ltd., Shanghai 201203, China

Abstract: To definite the persistence of thiacloprid seed coating with different film-forming agents in soil and plants and the efficacy in controling piercing-sucking insects, we tested the effects of the thiacloprid FS, with three different film-forming agents at a concentration of 400 g a.i. 100 kg⁻¹, on the emergence rate, growth, physiological and biochemical characteristics of maize at laboratory and in the field respectively, and evaluated controlling effect on piercing-sucking insects by high performance liquid chromatography-mass spectrometry (HPLC-MS/MS). The ZY904-3 and ZY904-5 film-forming agent treatments had no influence on emergence rate of maize. The seedling growth and activities in physiology and biochemistry were promoted to various degrees by thiacloprid seed dressing with three different film-forming agents. Compared with no film-forming agent treatments, the persistent periods of ZY904-1, ZY904-3, and ZY904-5 treatments were extended by 20~40 days, 20~30 days, and 10~20 days in leaves of maize and in the soil respectively. The maize piercing-sucking insects were controlled significantly by three film-forming agent treatments. ZY904-1 and ZY904-3 treatments had good control effects on the amount of piercing-sucking

本研究由国家重点研发计划重点项目(2018YFD0200604), 山东“双一流”奖补项目(农作物病虫害绿色防控, SYL2017XTTD11)和山东省现代农业产业技术体系项目(SDAIT-02-10)资助。

This study was supported by the National Key Research and Development Project (2018YFD0200604), the Provincial Major Technological Innovation Program of Agricultural Application in Shandong, the Shandong “Double First-class” Award (SYL2017-XTTD11) and the National Modern Agricultural Technology & Industry System (SDAIT-02-10).

* 通信作者(Corresponding author): 姜兴印, E-mail: xyjiang@sdaau.edu.cn

第一作者联系方式: E-mail: yaoc2009@163.com

Received (收稿日期): 2019-03-08; Accepted (接受日期): 2019-09-26; Published online (网络出版日期): 2019-10-12.

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20191012.0855.002.html>

insects in the growth stage of maize which coat still over 50% at 80 d (laboratory test) and 60 d (field test) after sowing, respectively. However, ZY904-1 treatment delayed the emergence of seeds. Taking all factors as a whole, ZY904-3 film-forming agent has the best seed dressing effect.

Keywords: thiacloprid; maize; film-forming agent; persistent period; safety; liquid chromatography-mass

玉米是世界上重要的粮-饲-经三元结构作物,是中国种植面积最广的粮食作物^[1]。玉米生长期易遭受各种病虫害,严重影响玉米的产量和品质^[2],刺吸式害虫(主要包括蚜虫、蓟马、灰飞虱)对玉米幼苗的危害很大,导致玉米严重减产,减少农民的收入^[3]。玉米苗期蚜虫(*Aphidoidea*)集中在心叶吸食汁液,后期危害全株^[4]。蓟马(*Thripidae*)幼虫主要取食玉米心叶,吸食玉米汁液,抑制生长发育;成虫严重时使叶片变黄枯萎甚至枯死^[5]。灰飞虱(*Laodelphax striatellus*)不但刺吸玉米汁液,还可以传播玉米粗缩病毒(MRDV),减产10%~30%左右^[6]。目前新烟碱类杀虫剂主要防治小麦和玉米的刺吸式口器害虫^[7-8]。噻虫啉是一种新型的烟碱类杀虫剂,主要用于乙酰胆碱受体,干扰神经信号传递,使昆虫不能进行正常的生理活动而死亡^[9-11]。噻虫啉是防治刺吸式口器害虫的高效药剂^[9]。季守民等^[12]研究报道噻虫啉对蜜蜂的急性毒性为低毒,低风险;2013年欧洲食品安全局报告显示吡虫啉、噻虫嗪和噻虫胺3种药剂对蜜蜂高毒,同年欧盟宣布在大规模开花作物和以蜜蜂进行授粉的作物上禁用这3种药剂^[12-13]。而噻虫啉对蜜蜂的急性毒性为低毒,可作为替代药品。为了保持药效习惯选择多次施药,导致农药滥用且造成农药残留过高。在农业部提出的“双减”、“精准施药”大背景下,农药剂型正朝着安全、低毒、持效期长的方向改进^[14]。种衣剂是一种一次施药长期持久有效的农药剂型。研究发现水稻包衣处理后,基本可以控制水稻生长阶段的蓟马,减少了生长后期农药的使用量和使用频率,避免了对环境的污染和高残留量^[15-16]。研究发现噻虫啉种衣剂在土壤中持效期很短,15 d内的降解率高达98%以上,而吡虫啉25 d内的降解率为25%左右^[17]。因此延长噻虫啉种衣剂的持效期尤为重要。种衣剂中最重要的非活性成分为成膜剂,成膜剂的特性影响种衣剂药效的发挥及持效性^[15,18],黄淮海玉米区作为我国重要的夏播玉米区,常因高温多雨造成种衣剂持效期短,因此亟需寻找新型成膜剂延长药剂持效期。本试验采用3种新型成膜剂ZY904-1、ZY904-3和ZY904-5加工成噻虫啉悬浮种衣剂,在室内条件和大田试验条件下测定3种悬浮种衣剂对玉米的安全性、对刺

吸式害虫的防治效果以及在土壤和植株中的持效性,筛选出可以在玉米种子包衣上应用的新型成膜剂,延长噻虫啉作为种衣剂的持效期。

1 材料与方法

1.1 试验地点

室内试验于2016年在山东农业大学玻璃温室进行。大田试验于2017年在山东省泰安市宁阳县得时村(35°51'37.24"N, 116°53'31.47"E)进行,年均气温13.4℃,属暖温带季风气候类型。试验地土壤类型为壤土,pH 7.48,有机质含量为1.54%。

1.2 供试材料

植物试材为玉米(*Zea mays* L.)品种‘郑单958’(河南金博士种业股份有限公司)。

试验试剂包括96.5%噻虫啉原药(山东联合农药有限公司),ZY904-1、ZY904-3和ZY904-5成膜剂(农药毒理及应用技术重点实验室),40%噻虫啉悬浮种衣剂(分别含不同成膜剂),色谱乙腈、甲醇(美国Sigma公司)。其他试剂均为国产分析纯,试验用水为双蒸水。

主要仪器为三重四级杆液质联用仪(Xevo-TQS 美国 Waters 公司生产),台式高速离心机(德国 SORVAL 公司),氮吹仪(杭州米欧仪器有限公司),KQ250B 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)。

1.3 试验设计

于实验室分别加工含12%的ZY904-1、ZY904-3和ZY904-5三个成膜剂和不添加成膜剂的40%噻虫啉悬浮种衣剂(FS),另设置清水对照,共计5个处理。室内试验和大田试验分别按400 g a.i. 100 kg⁻¹种子浓度进行玉米种子包衣。室内试验采用盆栽法,用380 mm×405 mm(直径×高)塑料盆钵,每盆1株,将试验土壤湿度调整至60%后定量装至盆钵的4/5处,挑选籽粒饱满均匀的玉米种子播种,每处理100盆,白天最高气温控制在25~30℃左右,晚上最低气温控制在18~20℃左右。大田试验采用完全随机区组设计,每个处理4次重复,小区设置面积为30 m²(5 m×6 m),单粒播种,行距50 cm,株距30 cm,记录每个小区玉米的播种粒数。

1.4 调查取样

关于玉米生长指标, 在室内试验中调查一次出苗率, 大田试验玉米整体出苗 60% 左右开始每隔 2 d 调查一次出苗情况, 连续调查 5 次; 于三叶一心期, 随机取 10 株幼苗, 测定玉米生长指标和生理指标; 玉米出苗后两叶期开始, 前期每 5 d 取一次样, 后期每 10 d 取一次样。取心叶下方叶片, 多点采样, 采集 8~10 株(500 g)正常植株, 切碎混匀, 采用四分法留样 150 g 左右, 放在-20℃冰箱中保存备用。土壤与叶片取样同时进行, 在玉米根系 10 cm 内用土钻钻取距地面 10~15 cm 的土壤 2 kg 左右, 混匀, 采用四分法留样 150 g。放在-20℃冰箱中保存备用。采用室内试验心叶下方叶片接种蚜虫的方法, 调查蚜虫死亡率; 在大田试验玉米三叶期后每隔 10 d, 随机调查每个小区 30 株玉米植株上的刺吸式害虫(蚜虫、灰飞虱和蓟马)的数量。

1.5 样品 UPLC-MS/MS 分析方法

1.5.1 样品前处理

(1) 叶片样品 准确称取 1.0 g 叶片样品, 加液氮研磨后用 8 mL 甲醇分 2 次充分研磨提取, 转移到 10 mL 离心管中, 超声震荡提取 1 h, 静置 2 h, 然后 4 ℃ 3020 × g 离心 15 min, 分液, 用甲醇冲洗离心管中的沉淀物并转移到漏斗中, 加入二氯甲烷与石油醚 1 : 1 (体积比)的混合液 30 mL, 剧烈震荡 2 min, 得到有机相, 40℃减压蒸干, 加入 2 mL 乙腈涡旋重溶, 再将样品加入活化佛罗里硅土柱中, 收集淋洗液, 使用氮吹仪在 40℃ 吹干, 然后用 2 mL 乙腈涡旋重溶, 过 0.22 μm 有机滤膜, 待测。

(2) 土壤样品 将 20 g 土壤用 30 mL 乙腈封闭在 100 mL 离心管中, 机械震荡 1 h 后超声提取 30 min, 静置处理 1 h 后, 在 4℃ 3020 × g 离心 20 min, 过滤, 合并滤液, 收集在含 2 mL 饱和氯化钠溶液的分液漏斗中, 其余步骤同叶片提取。

1.5.2 检测条件 采用三重四级杆液质联用仪进行样品检测, 色谱柱为反相 Pgrandsil-STC-C18 (250 mm × 4.6 mm i.d., 5 μm)柱, 柱温 30℃, 进样体积 2 μL。流动相 A 为 0.1% 甲酸水, B 为纯乙腈, 流速为 0.50 mL min⁻¹, 梯度洗脱程序见表 1。

质谱条件为电喷雾(ESI)正离子模式; 多重反应检测模式(MRM)扫描; 干燥温度为 335℃; 干燥器流速为 480 L h⁻¹; 雾化器压力为 40 psi; 电喷雾

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution procedures

时间 (min)	流速 (mL min ⁻¹)	流动相 Mobile phase (%)	
		0.1%甲酸水溶液 0.1% formic acid solution	乙腈 Acetonitrile
0	0.50	90	10
1	0.50	90	10
2	0.50	10	90
3	0.50	10	90
4	0.50	90	10
5	0.50	90	10

电压为 3.0 kV, 离子源温度为 550℃, 保留时间为 1.5 min, 毛细管出口电压为 80 V, 碰撞能量为 30 V 和 35 V。

1.5.3 分析方法检验 用色谱乙腈配制 1000 mg L⁻¹ 噻虫啉母液, 梯度稀释成 2、1、0.5、0.2、0.1、0.05、0.01 和 0.005 mg L⁻¹ 的浓度进行质谱分析, 重复 4 次, 建立标准曲线。在 0.01、0.1、1 mg L⁻¹ 3 个添加水平下, 进行添加回收率试验, 每个处理 4 次重复。

1.6 数据处理及分析

采用 Microsoft Excel 2010 处理数据, IBM SPSS Statistics 20 软件进行单因素方差分析, 使用 Origin 2018 绘图, 用平均值±标准误表示测定结果, 采用 Duncan's 新复极差法($P < 0.05$)进行数据方差分析及最小显著差异性检验。

2 结果与分析

2.1 不同成膜剂拌种处理对玉米幼苗的影响

由表 2 可知, 噻虫啉种衣剂以 400 g a.i. 100 kg⁻¹ 种子浓度包衣处理后, 室内条件下, ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂抑制出苗, 其他所有处理的出苗率均大于 95%, 各处理之间没有显著性差异。田间条件下, ZY904-3、ZY904-5 和未加成膜剂的噻虫啉种衣剂(FS)处理不影响种子出苗, 出苗 60% 后的第 6 天出苗率达到 90% 以上, 第 8 天出苗基本完成, 各处理之间差异不显著; 添加了 ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂延缓了出苗时间且抑制出苗, 第 10 天出苗率达 84.63%, ZY904-1 的噻虫啉种衣剂处理延缓种子出苗 2 d 左右, 与未添加成膜剂的对照处理之间差异显著。

表 2 不同成膜剂噻虫啉种衣剂对玉米出苗率的影响

Table 2 Effects of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating on the emergence rate of maize (%)

成膜剂 Film-forming agent	有效成分 Active ingredients (g a.i. 100 kg ⁻¹)	室内试验 Laboratory test	大田试验 Field test				
			2 d	4 d	6 d	8 d	10 d
ZY904-1	400	80.27±1.35 b	56.26±1.65 b	76.81±2.67 c	78.56±2.30 c	84.31±1.74 b	84.63±1.32 b
ZY904-3	400	96.58±2.26 a	63.17±2.64 a	85.60±1.62 a	92.61±0.98 a	93.48±3.19 a	93.48±1.19 a
ZY904-5	400	95.42±1.74 a	63.40±1.37 a	85.35±2.09 a	91.49±1.35 a	92.24±2.34 a	92.24±2.34 a
未添加成膜剂对照 NCK	400	96.33±2.88 a	64.24±0.96 a	86.77±1.79 a	91.70±3.36 a	93.38±3.18 a	93.38±3.18 a
清水对照 CK	—	97.31±2.57 a	58.63±4.74 b	82.91±1.42 b	86.56±2.34 b	90.77±1.54 ab	90.77±4.54 ab

数据为平均值±标准误。同列标记不同字母的数值差异显著($P < 0.05$)。

Data were showed with mean ± SE. Value followed by different letters in the same column are significant by different ($P < 0.05$). NCK: not add film forming CK.

由表 3 和表 4 可知, 不同成膜剂处理的噻虫啉种衣剂以 400 g a.i. 100 kg⁻¹ 种子浓度包衣处理后, 在玉米三叶一心期其主要的生长指标在室内条件下,

除株高和鲜重外, 各处理之间差异性不显著。田间条件下 3 种成膜剂与未加成膜剂对照相比差异不显著, 但与清水对照相比均有不同程度的促进作用。

表 3 不同成膜剂噻虫啉拌种对玉米幼苗生长指标的影响(室内试验)

Table 3 Effects of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating on growth indexes of maize seedlings (laboratory test)

成膜剂 Film-forming agent	有效成分 Active ingredients (g a.i. 100 kg ⁻¹)	株高 Plant height (cm)	根长 Root length (cm)	茎粗 Stem thick (cm)	须根数 Fibrous root number	鲜重 Fresh weight (g)
ZY904-1	400	30.60±2.31 b	18.62±2.46 a	6.18±0.53 a	5.2±0.32 a	4.91±0.28 a
ZY904-3	400	32.35±1.34 a	19.85±1.28 a	6.42±0.47 a	5.7±0.62 a	5.07±0.46 a
ZY904-5	400	32.26±1.86 a	18.23±3.25 a	6.23±0.38 a	5.3±0.35 a	4.73±0.19 ab
未添加成膜剂对照 NCK	400	33.21±1.81 a	18.64±2.45 a	6.55±0.41 a	5.2±0.28 a	4.63±0.24 ab
清水对照 CK	—	33.47±1.69 a	18.98±3.12 a	6.83±0.48 a	5.1±0.19 a	4.25±0.64 b

数据为平均值±标准误。同列标记不同字母的数值差异显著($P < 0.05$)。

Data were showed with mean ± SE. Value followed by different letters in the same column are significant by different ($P < 0.05$). NCK: not add film forming CK.

表 4 不同成膜剂噻虫啉拌种对玉米幼苗生长指标的影响(大田试验)

Table 4 Effects of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating on growth indexes of maize seedlings (field test)

成膜剂 Film-forming agent	有效成分 Active ingredients (g a.i. 100 kg ⁻¹)	株高 Plant height (cm)	根长 Root length (cm)	茎粗 Stem thick (cm)	须根数 Fibrous root number	鲜重 Fresh weight (g)
ZY904-1	400	29.64±1.32 a	11.65±0.56 a	7.80±0.35 a	6.1±0.02 a	4.76±0.33 a
ZY904-3	400	27.32±0.82 a	11.85±0.36 a	8.61±0.56 a	5.8±0.06 a	4.83±0.54 a
ZY904-5	400	29.47±0.66 a	11.42±1.10 a	9.00±0.44 a	6.0±0.00 a	5.04±0.28 a
未添加成膜剂对照 NCK	400	30.36±1.98 a	12.56±0.45 a	8.55±0.32 a	6.0±0.03 a	5.06±0.42 a
清水对照 CK	—	23.24±1.33 b	8.71±1.32 b	5.83±0.24 a	5.2±0.05 a	3.77±0.74 b

数据为平均值±标准误。同列标记不同字母的数值差异显著($P < 0.05$)。

Data were showed with mean ± SE. Value followed by different letters in the same column are significant by different ($P < 0.05$). NCK: not add film forming CK.

2.2 不同成膜剂拌种对玉米常规指标和抗氧化酶活性的影响

由表5和表6可以看出,3种不同成膜剂的噻虫啉种衣剂以400 g a.i. 100 kg⁻¹种子浓度处理后,无论是室内条件还是田间试验条件下,三叶一心期的

玉米叶片中的叶绿素含量、根系活力、脯氨酸含量和抗氧化酶(SOD、CAT和POD)活性与未添加成膜剂对照处理和清水对照相比均有所增加,但增加的程度不同,与未加成膜剂对照处理之间差异不显著,与清水对照之间差异显著。

表5 不同成膜剂噻虫啉拌种对玉米常规生理指标的影响

Table 5 Effects of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating on physiological indexes of maize

成膜剂 Film-forming agent	有效成分 Active ingredient (g a.i. 100 kg ⁻¹)	叶绿素 Chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)		根系活力 Root activity (g h ⁻¹ FW)		游离脯氨酸 Free proline accumulation (μg g ⁻¹ DW)	
		室内试验 Laboratory		田间试验 Field		室内试验 Laboratory	
		室内试验 Laboratory	田间试验 Field	室内试验 Laboratory	田间试验 Field	室内试验 Laboratory	田间试验 Field
ZY904-1	400	2.21±0.11 a	2.34±0.03 a	0.35±0.04 a	0.54±0.01 a	57.24±0.94 b	87.37±1.21 a
ZY904-3	400	2.16±0.27 a	2.33±0.02 a	0.38±0.08 a	0.55±0.03 a	62.39±1.32 a	87.11±1.29 a
ZY904-5	400	2.19±0.09 a	2.34±0.03 a	0.37±0.08 a	0.52±0.02 ab	59.22±0.72 b	86.82±0.65 a
未添加成膜剂对照 NCK	400	2.04±0.07 ab	2.23±0.08 a	0.32±0.02 a	0.50±0.06 a	57.49±1.32 b	80.46±0.95 a
清水对照 CK	—	1.94±0.11 b	1.85±0.07 b	0.24±0.02 b	0.46±0.03 b	42.16±0.64 c	54.90±1.47 b

数据为平均值±标准误。同列标记不同字母的数值差异显著($P < 0.05$)。

Data were showed with mean ± SE. Value followed by different letters in the same column are significant by different ($P < 0.05$). NCK: not add film forming CK.

表6 不同成膜剂噻虫啉拌种对玉米抗氧化酶活性的影响

Table 6 Effects of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating on the antioxidant enzymes activity of maize

成膜剂 Film-forming agent	有效成分 Active ingredient (g a.i. 100 kg ⁻¹)	超氧化物歧化酶活性 SOD activity (U g ⁻¹ FW min ⁻¹)		过氧化氢酶活性 CAT activity (U g ⁻¹ FW min ⁻¹)		过氧化物酶活性 POD activity (U g ⁻¹ FW min ⁻¹)	
		室内试验 Laboratory		田间试验 Field		室内试验 Laboratory	
		室内试验 Laboratory	田间试验 Field	室内试验 Laboratory	田间试验 Field	室内试验 Laboratory	田间试验 Field
ZY904-1	400	71.36±2.32 a	50.85±0.96 a	134.23±4.28 a	81.74±2.47 a	64.82±4.53 a	55.30±2.12 a
ZY904-3	400	76.53±3.46 a	51.62±1.30 a	147.65±6.42 a	79.84±0.30 a	60.17±5.26 a	55.06±3.45 a
ZY904-5	400	80.32±2.49 a	50.06±0.84 a	130.27±8.24 a	80.70±2.44 a	64.22±2.79 a	54.23±1.41 a
未添加成膜剂对照 NCK	400	74.21±4.12 a	46.32±1.31 a	140.59±7.33 a	74.33±2.44 a	62.47±4.62 a	45.29±2.63 ab
清水对照 CK	—	58.34±1.91 b	35.64±1.09 b	80.69±9.28 b	64.64±1.62 b	47.82±4.33b	36.53±2.34 c

数据为平均值±标准误。同列标记不同字母的数值差异显著($P < 0.05$)。

Data were showed with mean ± SE. Value followed by different letters in the same column are significant by different ($P < 0.05$). NCK: not add film forming CK.

2.3 不同成膜剂噻虫啉拌种在玉米植株和土壤中的残留动态及对刺吸式害虫的防治效果

由表7可以看出,噻虫啉标准曲线的相关系数大于0.99,说明在0.005~2 mg L⁻¹的浓度范围内线性关系良好。噻虫啉玉米叶片和土壤中的回收率均在80%~110%的范围内,相对标准偏差为2.9%~7.9%,均符合要求。噻虫啉在叶片、土壤和籽粒中的最低检

出限为0.002 mg kg⁻¹,最低定量限为0.005 mg kg⁻¹。

由图1可以看出,噻虫啉检测的保留时间为1.53~1.54 min,定量离子响应值达 1.26×10^8 ,定性离子响应值达 2.17×10^7 ,母离子响应值达到 1.46×10^8 ,响应值高,最低检出限低,检测的准确度高。综上,所建立的方法具有较好的准确度和精密度,符合农药残留分析的检测要求。

表 7 噻虫啉在玉米叶片和土壤中的添加回收率

Table 7 Fortified recovery of thiacloprid in maize leaves and soil

添加水平 Spiked level (mg kg ⁻¹)	标准曲线 Calibration curve	土壤 Soil		玉米植株 Maize plant	
		平均回收率 Average recovery (%)	相对标准偏差 RSD (%)	平均回收率 Average recovery (%)	相对标准偏差 RSD (%)
0.01	$y = 3775.92x + 6978240$	89.42	6.4	86.07	7.9
0.1	$R^2 = 0.9931$	94.64	3.4	95.36	2.9
1.0		96.78	3.2	95.36	5.6

RSD: relative standard deviation.

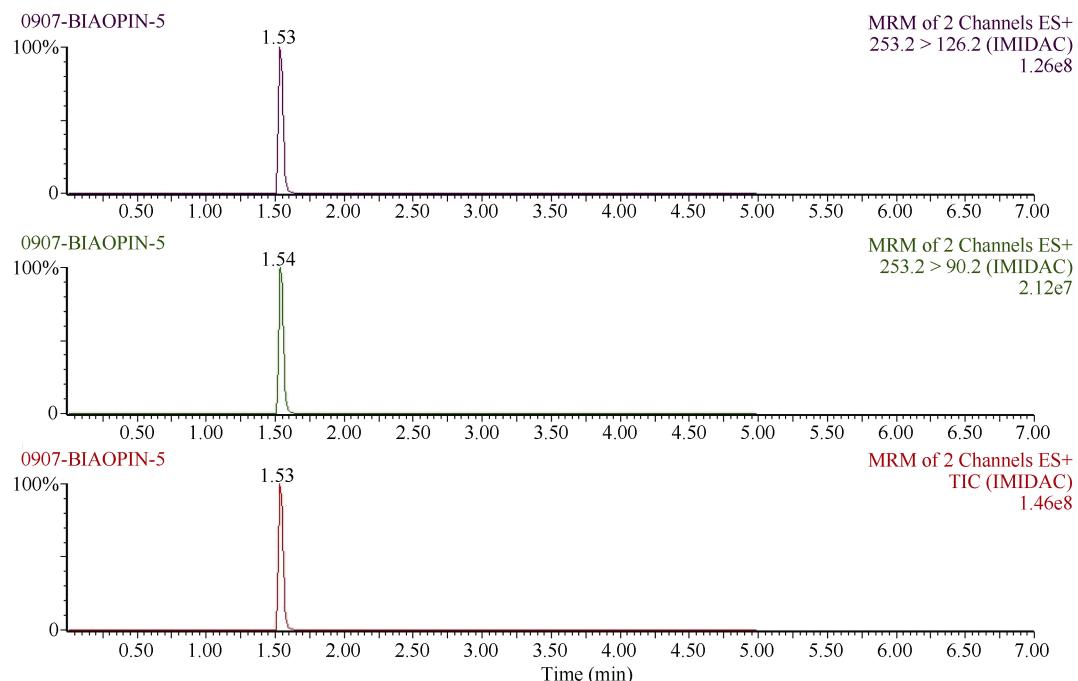


图 1 噻虫啉标样质谱图

Fig. 1 Mass spectrogram of thiacloprid

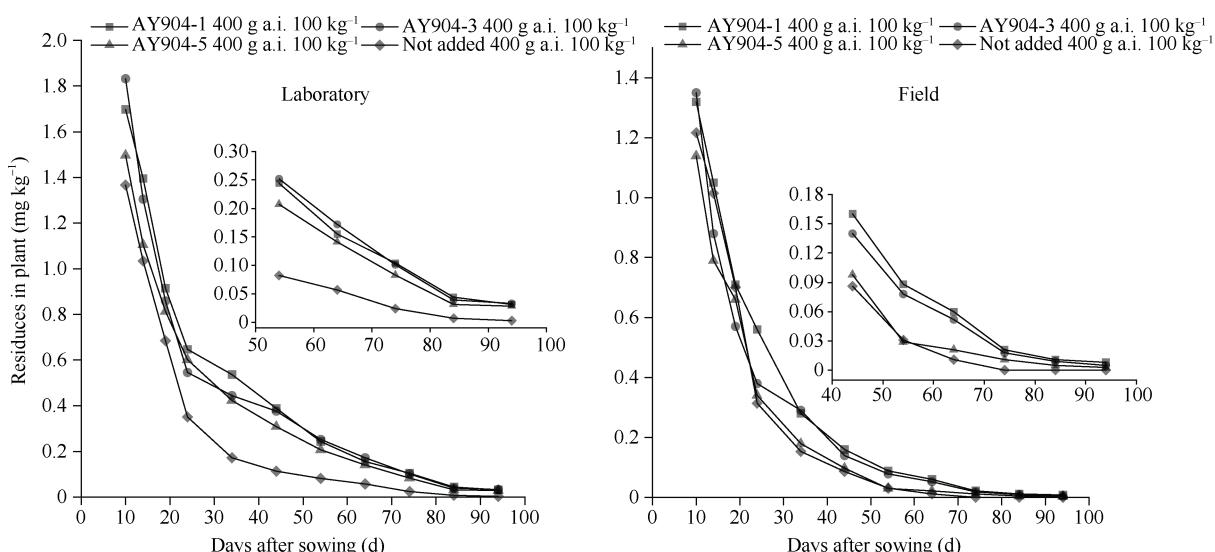


图 2 不同成膜剂噻虫啉拌种处理在玉米叶片中的消解动态

Fig. 2 Dispersing dynamics of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating in maize leaves

由图 2 可以看出, 玉米叶片噻虫啉的含量随着处理时间延长而迅速下降, 室内条件下的噻虫啉含量高于田间试验。室内条件下第 1 次取样 ZY904-1、ZY904-3、ZY904-5 和未加成膜剂的噻虫啉种衣剂 4 个处理的噻虫啉浓度分别为 1.698、1.832、1.497 和 $1.3673 \text{ mg kg}^{-1}$; 田间条件下噻虫啉浓度分别为 1.308 、 1.333 、 1.113 和 1.213 mg kg^{-1} 。室内播种 94 d 后, 浓度分别下降至 0.031 、 0.033 、 0.028 和 0.003 mg kg^{-1} ,

田间条件下在播种后 54 d 已分别下降至 0.088 、 0.078 、 0.029 和 0.031 mg kg^{-1} 。播种后第 94 天 ZY904-1 的噻虫啉种衣剂的残留浓度为 0.008 mg kg^{-1} , ZY904-3 的噻虫啉种衣剂的残留浓度为 0.005 mg kg^{-1} ; ZY904-5 的噻虫啉种衣剂在播种后第 84 天最后一次检测到量为 0.005 mg kg^{-1} , 未添加成膜剂的噻虫啉种衣剂对照在第 64 天最后一次检测到噻虫啉的量为 0.016 mg kg^{-1} 。

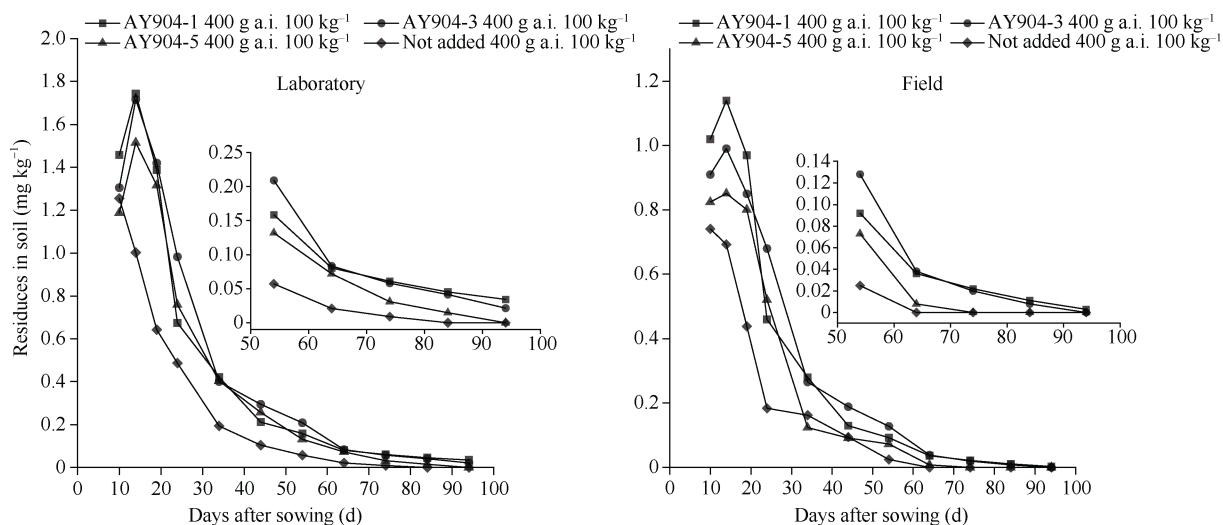


图 3 不同成膜剂噻虫啉拌种处理在土壤中的残留动态

Fig. 3 Dispelling dynamics of thiamethoxam suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating in soil

由图 3 可以看出, 使用成膜剂的噻虫啉 FS 随着处理时间延长出现了先升高再下降的趋势。室内条件下 ZY904-1、ZY904-3 和 ZY904-5 三个成膜剂的噻虫啉 FS 拌种处理在第 2 次取样时达到最大值, 分别为 1.743 、 1.716 和 1.514 mg kg^{-1} , 田间条件下则为 1.123 、 0.988 和 0.854 mg kg^{-1} , 而未加成膜剂的噻虫啉种衣剂对照则呈现逐渐降低的趋势。播种后 34 d 噻虫啉迅速降解, 含量迅速下降, 室内条件下降解率分别为 75.79% 、 76.63% 、 73.38% 和 80.64% , 田间条件下降解率分别为 75.86% 、 73.99% 、 84.43% 和 89.67% 。播种 94 d 后, 室内条件下, 含 ZY904-1、ZY904-3 和 ZY904-5 三种成膜剂的噻虫啉种衣剂残留浓度分别为 0.034 、 0.021 和 0.008 mg kg^{-1} , 未加成膜剂处理中未检测到残留量; 田间条件下 ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂处理第 94 天土壤中的残留量为 0.002 mg kg^{-1} , ZY904-3 成膜剂的噻虫啉种衣剂处理在第 84 天最后检测到残留量为 0.006 mg kg^{-1} , ZY904-5 的噻虫啉种衣剂成膜剂在第 64 天最后检测到残留量为 0.008 mg kg^{-1} , 未加成膜剂的

噻虫啉种衣剂对照处理在第 44 天最后检测到残留量为 0.016 mg kg^{-1} 。

由图 4-A 可知, 室内条件下, 随着拌种天数的延长, 噻虫啉种衣剂的防效呈下降的趋势, 但含不同成膜剂的噻虫啉防效不一致, 不含成膜剂的噻虫啉种衣剂防效最差, 在拌种 50 d 后防效降到 50% 以下, 含 ZY904-1 和 ZY904-3 成膜剂的噻虫啉种衣剂在拌种 80 d 防效仍能达到 50%, 含 ZY904-5 成膜剂的噻虫啉种衣剂在拌种 60 d 防效在 50% 以上。

由图 4-B 可知, 玉米苗期害虫数量较少, 喇叭虫期(30 d 左右)数量开始迅速上升, 玉米抽穗期(50 d 左右)数量达到最大值, 之后减少, 到乳熟期数量又再次上升, 空白对照区平均害虫数量最高达到每百株 3000 头以上。4 个拌种处理刺吸式害虫数量上升缓慢, 在整个玉米生长期害虫的数量一直低于对照处理, 差异显著; 4 个处理之间 ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂处理的刺吸式害虫数量一直处于最低水平, ZY904-3 和 ZY904-5 成膜剂的噻虫啉种衣剂处理次之, 未加成膜剂对照处理刺吸式害虫数

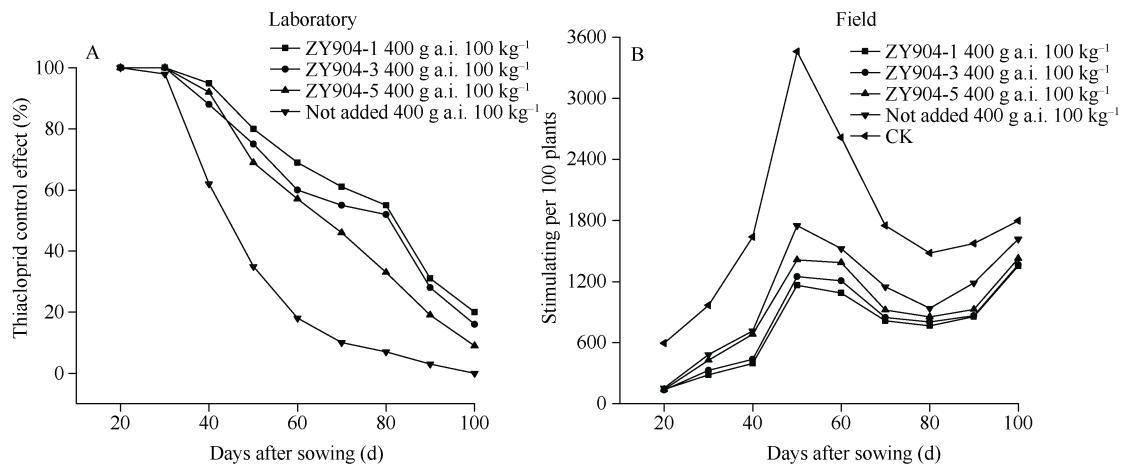


图 4 不同成膜剂噻虫啉拌种对刺吸式害虫数量的影响

Fig. 4 Effects of thiacloprid suspension concentrate with different film-forming agents for seed coating on the amount of piercing-sucking insects

量较高，但相互之间差异不显著。上述结果表明，与未加成膜剂对照处理相比，使用 ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种处理的噻虫啉种衣剂对蚜虫的防治效果最好，空白对照的效果最差，ZY904-3 和 ZY904-5 的噻虫啉种衣剂防治效果处于两者之间。

3 讨论

有文献报道种衣剂一般对种子萌发和生长有一定的影响，种衣剂可能延缓种子萌发或降低种子的萌发率，对幼苗生长的根系活力和各项生长指标(株高、根长、茎粗、须根数和鲜重)的生长量也有影响^[19-20]，根系活力是反映植物生长态势的重要基本指标^[21]。本研究表明 ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种处理延缓玉米种子出苗 2 d 左右，出苗率调查第 10 天与空白对照相差 6.14%，而 ZY904-3 和 ZY904-5 成膜剂的噻虫啉种衣剂对玉米种子出苗时间没有影响；3 种成膜剂对玉米幼苗的根系活力和各种生长指标比未添加成膜剂的噻虫啉种衣剂处理有所增加，彼此之间差异不显著，但与空白对照相比差异显著。这与程传英等^[22]研究表明醚菌酯种衣剂花生拌种处理对花生的株高、根长、鲜重和根系活力等生理指标都有所增加的结果相符合。

叶绿素是植物重要的光合色素，其含量决定植物光合作用的强弱，反映出植物的生长状况^[23]。游离脯氨酸是植物细胞内渗透调节物质之一，调节细胞内的渗透平衡，维持细胞膜稳定性^[24-25]。SOD、POD 和 CAT 是植物体内的抗氧化酶，能清除植物体内的氧自由基，降低细胞膜脂过氧化程度，增强植

物的抗逆性，延缓植物的衰老^[26]。袁传卫^[27]研究发现吡唑醚菌酯以药种比为 10 10000 拌种处理可提高玉米叶片中叶绿素含量 13.6%，POD 活性提高了 130%，以药种比 2.5 10000 处理 SOD 和 CAT 活性分别提高了 27.2% 和 37.9%。本研究在室内和田间两种条件下含 3 个不同成膜剂的噻虫啉种衣剂处理的玉米叶片中游离脯氨酸含量、叶绿素含量和抗氧化酶活性与空白对照和未加成膜剂对照相比都有所增加，但与未加成膜剂的噻虫啉种衣剂对照之间差异不显著，说明 3 种成膜剂的噻虫啉种衣剂对玉米体内叶绿素、游离脯氨酸和抗氧化酶活性等无影响，但与空白对照相比，有一定提高作用。

李金玉等认为种衣剂是以农药原药、成膜剂、润湿剂、分散剂、渗透剂、乳化剂和其他助剂加工而成，在种子表面包裹一层有通透性的保护膜的农药剂型^[28]。成膜剂是种衣剂的重要非活性物质，好的成膜剂可以使药剂均匀附着在种子表面^[14]，使药剂缓释，在植物的整个生长期持续发挥作用，延长药效，减少农药对环境的污染，实现“双减”。本研究表明，室内和田间条件下，未加成膜剂的噻虫啉 FS 处理在叶片和土壤中分别残留 70 d 和 60 d 左右，与未加成膜剂对照相比 ZY904-1 成膜剂噻虫啉 FS 在玉米叶片中的残留时间延长了 20 d 和 30 d，在土壤中延长了 30 d 和 40 d 左右，含 ZY904-3 的噻虫啉种衣剂的残留时间在叶片中延长 20 d 左右，土壤中延长了 20 d 和 30 d 左右，含 ZY904-5 的噻虫啉种衣剂分别延长了 20 d 左右。室内条件下含 3 种不同成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种对刺吸式害虫的防治效果在

播种 80 d 后 ZY904-1 和 ZY904-3 仍达到 50%以上, ZY904-5 拌种 60 d 防效在 50%以上, 而不含成膜剂的噻虫啉 FS 在 50 d 后防效降到 50%以下; 田间条件下, 添加含 3 种不同成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种对刺吸式害虫的防治效果在播种 60 d 后含 ZY904-1 和 ZY904-3 的噻虫啉种衣剂仍达到 50%以上, ZY904-5 的噻虫啉种衣剂为 43.5%, 未加成膜剂的噻虫啉种衣剂对照仅为 38.2%; 收获前最后一次调查, ZY904-1 和 ZY904-3 的噻虫啉种衣剂防治效果依然高于 20%, 而 ZY904-5 和未加成膜剂的噻虫啉种衣剂对照的防治效果仅为 13% 和 7% 左右。结果研究表明, 室内条件下含不同成膜剂的噻虫啉 FS 在土壤及叶片中的残留时间明显高于田间条件下, 分析其原因可能与试验地的气候和土壤微生物丰富度、植株本身生长代谢等内部环境因素有关, 室内条件下温度条件适宜, 植株自身代谢可能较田间环境弱, 同时室内土壤微生物丰富度低于田间条件, 噻虫啉降解速度低于田间降解速率。

综合室内以及田间两种试验条件下, 添加 ZY904-1 和 ZY904-3 成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种处理不仅可以延缓噻虫啉在玉米体内和土壤中的持效期, 而且可以有效防治玉米整个生长期的刺吸式害虫。

近年来研究发现新烟碱类药剂除了有很好的杀虫作用外, 还能促进植株的生长, 提高植株的抗病性。董飒等^[29]研究发现噻虫啉土壤处理后对番茄的株高、根长、茎粗、鲜重、根系活力和抗氧化酶活性有一定的促进作用; 董国政^[30]发现吡虫啉单独使用时能促进番茄种子萌发和幼苗的生长, 并且对番茄体内叶绿素的含量、游离脯氨酸含量和抗氧化酶活性都有不同程度的增加, 提高了番茄的抗逆性。这些报道与本研究的结果相似, 但是含 3 种不同成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种处理对玉米各种指标的提高是由于噻虫啉的作用还是新型成膜剂的作用又或者是两者共同作用还有待进一步的研究。

4 结论

3 种成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种处理对玉米幼苗的生长量、根系活力、叶绿素含量、脯氨酸含量和抗氧化酶活性都有一定程度的提高。ZY904-1 成膜剂的噻虫啉种衣剂虽然在土壤和植株中的持效期最长, 对刺吸式害虫的防治效果好, 但推迟了种子萌发时间, 影响玉米种子萌发率; ZY904-3 成膜剂的

噻虫啉种衣剂虽然在持效期和对刺吸式害虫的防治方面效果不如 ZY904-1, 但其对玉米种子萌发没有影响。ZY904-5 的噻虫啉种衣剂与未加成膜剂对照相比在种子萌发率、持效期及刺吸式口器害虫的防治方面差异不大。含 ZY904-3 成膜剂的噻虫啉种衣剂拌种对玉米安全, 无不良影响, 且能延长噻虫啉在玉米叶片和土壤中的持效期, 可推广使用。

References

- [1] 张学林, 徐钧, 安婷婷, 侯小畔, 李潮海. 不同氮肥水平下玉米根际土壤特性与产量的关系. 中国农业科学, 2016, 49: 2687–2699.
Zhang X L, Xu J, An T T, Hou X P, Li H C. Relationship between rhizosphere soil properties and yield of maize at different nitrogen levels. *Sci Agric Sin*, 2016, 49: 2687–2699 (in Chinese with English abstract).
- [2] 刘微, 张晓翔, 彭辉, 王彪, 王永生, 仪美芹, 王晶杰, 杜鹏, 宋震洋. 不同药剂配方种子包衣对玉米出苗安全性及玉米丝黑穗病和蚜虫的防治效果. 植物保护, 2017, 43: 224–229.
Liu W, Zhang X X, Peng H, Wang B, Wang Y S, Yi M Q, Wang J J, Du P, Song Z Y. Safety of different seed coating formulations to maize seeding and the control effect against maize head smut and aphids. *Plant Prot*, 2017, 43: 224–229 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王坤. 马铃薯、玉米邻作对大豆田刺吸式害虫的生态调控. 东北农业大学硕士学位论文, 黑龙江哈尔滨, 2017.
Wang K. Potato and Corn Neighbors Regulate Insect Pests in Soybean Fields. MS Thesis of Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang, China, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [4] Asin L, Pons X. Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (Homoptera: Aphididae) and implications for their population dynamics on the northeastern Iberian peninsula. *Environ Entomol*, 2001, 30: 1127–1134.
- [5] Manandhar R, Wright M G. Effects of interplanting flowering plants on the biological control of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) and thrips (Thysanoptera: Thripidae) in sweet corn. *J Econ Entomol*, 2016, 109: 113–119.
- [6] 杨菲, 张爱红, 闫冲, 孟凡思, 霍良占, 邱垫平, 苗洪芹, 王锡锋. 人工饲养不同世代灰飞虱群体传播水稻黑条矮缩病毒的比较. 植物病理学报, 2017, 47: 551–557.
Yang F, Zhang A H, Yan C, Meng F S, Huo Z L, Di D P, Miao H Q, Wang T F. Comparison of RBSDV bearing rates and transmission rates among different generations of artificial reared *Laodelphax striatellus* Fallén. *Acta Phytopathol Sin*, 2017, 47: 551–557 (in Chinese with English abstract).
- [7] 田体伟, 王丽莎, 王燕, 郭线茹, 闫凤鸣, 李洪连. 3 种新烟碱类种子处理剂对玉米及其主要害虫的影响. 河南农业科学, 2015, 44(11): 73–78.
Tian T W, Wang L S, Wang Y, Guo X R, Yan F M, Li H L. Effects of seed coating with imidacloprid and thiamethoxam on maize and main pests. *J Henan Agric Sci*, 2015, 44(11): 73–78 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高志山, 张学峰, 刘海涛, 张文娟, 慕卫. 新烟碱类杀虫剂种

- 子包衣防治麦蚜的可行性评价. 植物保护学报, 2016, 43: 864–872.
- Gao Z S, Zhang X F, Liu H T, Zhang W J, Mu W. Feasibility evaluation of neonicotinoid insecticide seed coating for the control of wheat aphid. *Plant Prot*, 2016, 43: 864–872 (in Chinese with English abstract).
- [9] 卜成成, 姜兴印, 芦勇, 李刚, 邢则森, 张吉旺, 王振林. 噻虫啉拌种对小麦种子及幼苗生长的生理效应. 中国农学通报, 2017, 33(21): 1–6.
- Bu C C, Jiang X Y, Lu Y, Li G, Xing Z S, Zhang J W, Wang Z L. Thiaclorpid seed dressing: the physiological effect on seed and seedling growth of wheat. *Chin Agric Sci Bull*, 2017, 33(21): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- [10] Brandt A, Gorenflo A, Siede R, Meixner M, Büchler R. The neonicotinoids thiaclorpid, imidacloprid, and clothianidin affect the immunocompetence of honey bees (*Apis mellifera* L.). *J Insect Physiol*, 2016, 86: 40–47.
- [11] Poletti M, Maia A, Omoto C. Toxicity of neonicotinoid insecticides to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biol Control*, 2007, 40: 30–36.
- [12] 季守民, 程传英, 袁传卫, 周秀玲, 姜兴印. 7种新烟碱类杀虫剂对意大利蜜蜂的急性毒性及风险评价. 农药, 2015, 54(4): 282–285.
- Ji S M, Cheng C Y, Yuan C W, Zhou X L, Jiang X Y. Acute toxicity and risk assessment of seven neonicotinoid insecticides on honeybees (*Apis mellifera* L.). *Agrochemicals*, 2015, 54(4): 282–285 (in Chinese with English abstract).
- [13] 简哲广, 孟飞, 郑火青, 周婷, 胡福良. 新烟碱类杀虫剂对蜜蜂健康的影响. 昆虫学报, 2014, 57: 607–615.
- Lin Z G, Meng F, Zheng H Q, Zhou T, Hu F L. Effects of neonicotinoid insecticides on honeybee health. *Acta Entomol Sin*, 2014, 57: 607–615 (in Chinese with English abstract).
- [14] 齐麟, 王昱翔, 王宁, 段一鸣, 张盈, 王娅, 肖璐璐, 李晓刚. 40%噻虫嗪·吡唑醚菌酯悬浮种衣剂成膜及生物学特性. 中国农业科学, 2017, 50: 1624–1634.
- Qi L, Wang Y X, Wang N, Duan Y M, Zhang Y, Wang Y, Xiao L L, Li X G. Film formation and biological properties of 40% thiamethoxam·pyraclostrobin flowable concentrate for seed coating. *Sci Agric Sin*, 2017, 50: 1624–1634 (in Chinese with English abstract).
- [15] Zeng D, Shi Y. Preparation and application of a novel environmentally friendly organic seed coating for rice. *J Sci Food Agric*, 2010, 89: 2181–2185.
- [16] 邓理楠, 李保同, 徐月明, 石庆华, 潘晓华. 2种氟虫双酰胺复配制剂拌种对直播晚稻蓟马的控制效果及水稻生长的影响. 中国农学通报, 2011, 27(12): 286–290.
- Deng L N, Li B T, Xu M Y, Shi Q H, Pan X H. Effects of mixed preparation of two kinds of fluorophora diamide on control effect and growth of rice in late rice thistle. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, 27(12): 286–290 (in Chinese with English abstract).
- [17] Liu Z, Dai Y, Huang G, Gu Y, Ni J, Wei H, Yuan S. Soil microbial degradation of neonicotinoid insecticides imidacloprid, acetamiprid, thiaclorpid and imidaclothiz and its effect on the persistence of bioefficacy against horsebean aphid *Aphis craccivora* Koch after soil application. *Pest Manage Sci*, 2011, 67: 1245–1252.
- [18] 齐麟, 王昱翔, 王宁, 段一鸣, 张盈, 肖璐璐, 王娅, 李晓刚. 水稻种衣剂成膜助剂的研究进展. 种子, 2017, 36(6): 54–60.
- Qi L, Wang Y X, Wang N, Duan Y M, Zhang Y, Wang Y, Xiao L L, Li X G. Research progress of film forming assistant of rice seed coat agent. *Seed*, 2017, 36(6): 54–60 (in Chinese with English abstract).
- [19] 董永义, 韩宁宁. 种衣剂对玉米出苗和幼苗生长的影响. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 149–151.
- Dong Y Y, Han N N. Effects of seed dressing on seedling growth and seedling growth of maize. *Jiangsu Agric Sci*, 2016, 44(4): 149–151 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张梦晗, 杨换玲, 郭线茹, 雷彩燕, 闫凤鸣. 吡虫啉种衣剂对小麦种子萌发和幼苗生长的影响及相关生理机制. 河南农业科学, 2015, 44(8): 76–79.
- Zhang M H, Yang H L, Guo X R, Lei C Y, Yan F M. Effects of imidacloprid seed coating agent on wheat seeds germination and seedlings growth and related physiological mechanism. *J Henan Agric Sci*, 2015, 44(8): 76–79 (in Chinese with English abstract).
- [21] Huang G B, Chai Q, Feng F X, Yu A Z. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid northwest China. *J Integr Agric*, 2012, 11: 1286–1296.
- [22] 程传英, 袁传卫, 殷万元, 张风文, 姜兴印. 3种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂拌种对花生幼苗生长及生理作用的影响. 植物生理学报, 2015, 51: 337–344.
- Cheng C Y, Yuan C W, Yin W Y, Zhang F W, Jiang X Y. Effects of seed dressing with three kinds of strobilurin fungicides on the growth and physiological function of peanut (*Arachis hypogaea*) seedling. *Plant Physiol J*, 2015, 51: 337–344 (in Chinese with English abstract).
- [23] Anjum S, Farooq M, Wang L C, Xue L, Wang S G, Wang L C, Zhang S. Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. *Plant Soil Environ*, 2011, 57: 326–331.
- [24] Jiang M, Zhang J. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves. *J Exp Bot*, 2002, 53: 2401–2410.
- [25] Suzuki N, Katano K. Coordination between ROS regulatory systems and other pathways under heat stress and pathogen attack. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 490.
- [26] Westhuizen A J V D, Qian X M, Botha A M. Differential induction of apoplastic peroxidase and chitinase activities in susceptible and resistant wheat cultivars by Russian wheat aphid infestation. *Plant Cell Rep*, 1998, 18: 132–137.
- [27] 袁传卫. 吡唑醚菌酯拌种对玉米生理特性及土壤微生物的影响. 山东农业大学硕士学位论文, 山东泰安, 2015.
- Yuan C W. The Effect of Seed Coating of Pyraclostrobin on Physiological Characteristics of Maize and Soil Microbial. MS Thesis of Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong, China, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李金玉, 刘桂英. 良种包衣新产品: 药肥复合型种衣剂. 种子, 1990, (6): 53–56.
- Li J Y, Liu G Y. New product of fine seed coat: compound seed coat of medicine and fertilizer. *Seed*, 1990, (6): 53–56 (in Chinese with English abstract).

- with English abstract).
- [29] 董飒, 张秀焕, 王杰, 夏晓明, 王开运. 36%噻虫啉水分散粒剂对番茄幼苗根系活力及生理生化指标的影响. 农药学学报, 2014, 16(1): 35–40.
Dong S, Zhang X H, Wang J, Xia X M, Wang K Y. Effects of thiacloprid 360WG on physiological indices and root vigor in tomato seedling. *Chin J Pestic Sci*, 2014, 16(1): 35–40 (in Chinese with English abstract).
- [30] 董国政. 典型农药对设施菜地土壤质量与番茄生长的影响. 中国农业科学院硕士学位论文, 北京, 2012.
Dong G Z. Effects of Typical Pesticides on Soil Quality and Tomato Growth in Vegetable Fields. MS Thesis of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China, 2012 (in Chinese with English abstract).